УДК 004.93

В.И Передерий [1], Е.Ю. Борчик [2]
[1]Херсонский национальный технический университет, Украина,
Бериславское шоссе, 24, г. Херсон, 73000
[2]Морской институт последипломного образования им. Ф.Ф.Ушакова, Украина,
ул. Комсомольская, 2, г. Херсон, 73000

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ЛПР ВО МНОГОУРОВНЕВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА

Viktor Perederii[1], Eugene Borchik[2]
[1] Kherson National Technical University of Ukraine,
24 Berislavske highway, Kherson, Ukraine, 73000
[2] Maritime Institute of Postgraduate Education n.a.F.F.Ushakov,
2 Komsomolskaya street, Kherson, Ukraine, 73000.

ASSESSMENT OF FACTORS' IMPACT ON PROBLEM-SOLVING BY THE DECISION MAKER IN MULTILEVEL ERGATIC SYSTEMS BY MEANS OF FUZZY CLASSIFICATOR

Предложен способ оценки степени влияния когнитивных и внешних факторов на принятие релевантных решений оперативно-диспетчерским персоналом во многоуровневых эргатических системах, работающих в критических условиях. Применение данного способа позволит в реальном времени контролировать и влиять на состояние лица, принимающего решения в критических ситуациях, на каждом иерархическом уровне управления, вследствие чего повысить эффективность работы эргатических систем в целом.
Ключевые слова: эргатическая система, человеческий фактор, нечеткие множества, экспертные оценки, многокритериальный анализ, функция принадлежности.
The author suggests the method of impact assessment of cognitive and external factors on relevant decision-making by operation-dispatch personnel in multilevel ergatic systems with branched hierarchic structure, working in critical situations. The application of this method allows to control and influence in real-time on the state of the decision-maker in critical situations, at each hierarchic operational level, so that to increase the effectiveness of ergatic systems work.
Keywords: ergatic system, human factor, fuzzy sets, expert judgements, multi-criteria analysis, membership fuction.

Введение

Во многоуровневых эргатических системах (МЭС), с разветвленной иерархической структурой и работающих в критических условиях, как энергетика, неф техимическая и др. промышленности, предъявляются особые требования к человеческому фактору. Принятие адекватных решений, в таких системах, лицом принимающим решение (ЛПР) в условиях неопределенности, во многом зависит как от его когнитивной составляющей, так и от факторов производственного процесса и воздействия производственной окружающей среды на каждом иерархическом уровне управления [1,2].

Постановка проблемы

Анализ литературных источников по аварийности в распределенных системах критического назначения показывает, что количество аварий, происходящих по вине ЛПР, составляет до 45%, что обусловливает актуальность исследований, направленных на совершенствование информационных технологий принятия решений с учетом воздействующих факторов на ЛПР на каждом иерархическом уровне системы [3].

Для решения данной задачи необходимо в реальном времени контролировать и влиять на функциональное состояние лица, принимающего решения в критических ситуациях, на каждом иерархическом уровне управления, вследствие чего повысить эффективность работы эргатических систем в целом.

Анализ последних исследований и публикаций

В работах [3-5] рассмотрены вопросы усовершенствования информационных технологий для систем принятия решений оперативно-диспетчерским персоналом. При этом основное внимание уделяется исследованию условий работы ЛПР, с учетом воздействующих на него внешних факторов, и формированию альтернатив принятия решений на основе имеющихся баз знаний по ликвидации аварийных ситуаций.

Следует отметить, что в данных работах не рассматриваются свойства ЛПР как промежуточного звена системы с учетом воздействующих на него факторов рабочей среды и когнитивной составляющей, на каждом иерархическом уровне управления.

Цель исследования

Исходя из проведённого анализа, целью исследования является совершенствование информационной технологии принятия решений, с учетом влияния внешних и когнитивных факторов на ЛПР во многоуровневых системах критического применения.

Для достижения указанной цели предлагается способ оценки методом нечеткого многокритериального анализа вариантов.

Данный способ позволит оценить факторы, оказывающие наибольшее влияние на ЛПР на каждом уровне системы, и, как следствие, корректировать его функциональное состояние для принятия релевантных решений.

Изложение основного материала

Характер принятия решений ЛПР в составе МЭС, на каждом из уровней, подвержен воздействию различных влияющих факторов, которые можно разделить на три группы:

1) факторы технологического процесса - уровень опасности - s_1;

2) факторы рабочей среды - длительность работы - s_2, освещенность - s_3, температура - s_4, уровень шума - s_5, уровень вибраций - s_6, напряженность электромагнитного поля - s_7 и др.;

3) когнитивные факторы - утомленность - s_8, информационная пропускная способность - s_9, психологическая напряженность - s_{10}, информационный стресс - s_{11} и др.

Обобщенная структура МЭС представлена на рис.1.

Принятие решений ЛПР первого уровня в основном определено управлением и контролем режимов технологического процесса. На этом уровне на него, в основном, воздействуют факторы производственного процесса и факторы рабочей среды.

Деятельность ЛПР на втором уровне заключается, в основном, в диспетчеризации технологического процесса и характеризуется большим объемом поступающей информации, повышенным уровнем риска, выполнением задач планирования, поступающих от верхних уровней МЭС. К влияющим факторам на этом уровне можно отнести как факторы рабочей среды, так и когнитивные.

На верхнем уровне управления МЭС ЛПР осуществляет управление территориальной распределенностью задач, выбор альтернатив для принятия решения в критических ситуациях, которые не полностью регламентируются инструктивными материалами. На этом уровне наибольшее значение имеет когнитивная составляющая.

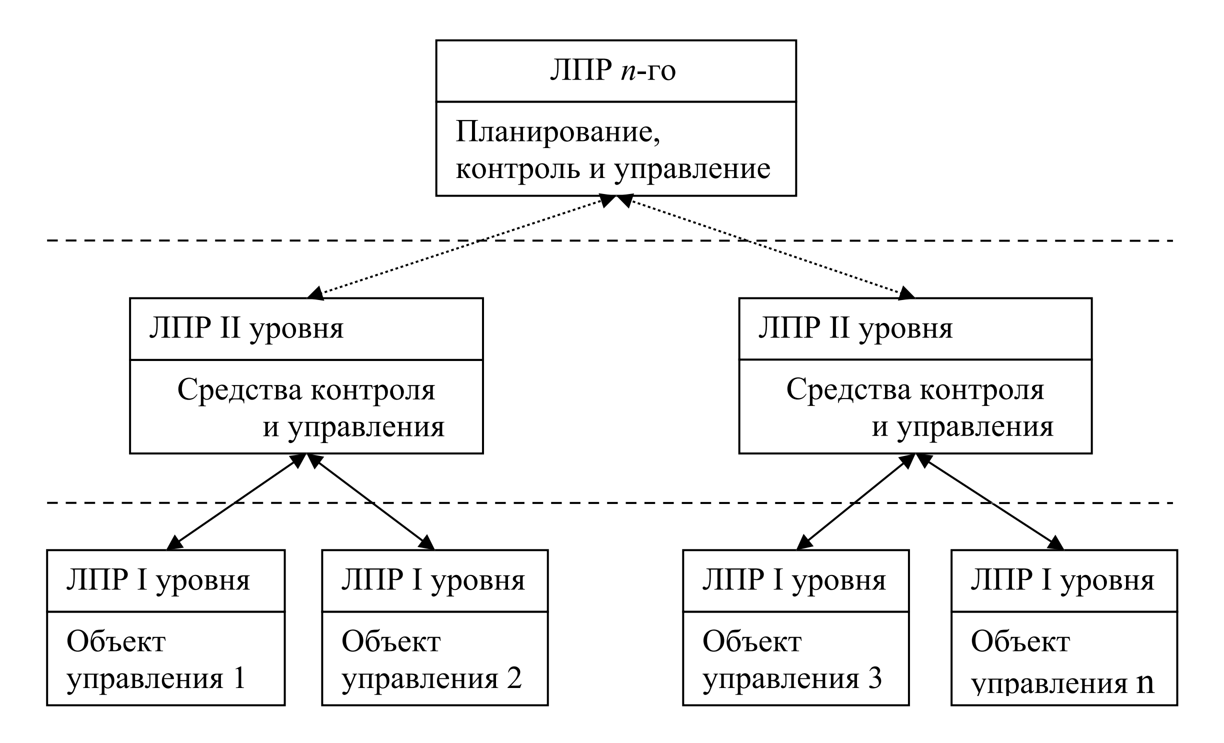


Рис.1. Обобщенная схема МЭС

Как видно из анализа, деятельность ЛПР на различных уровнях иерархии, в различной степени, зависит от перечисленных факторов. Поэтому целесообразно использовать метод экспертных оценок, что позволит получить информацию с учетом специфики реальных МЭС на основе опыта экспертов.

Для получения экспертных оценок проводился опрос по 10 экспертов на каждом из уровней МЭС. Данные оценки представляются значением нечеткой лингвистической переменой «оценка», «низкая», «средняя», «высокая».

Для определения степени важности влияния перечисленных факторов, на основании экспертных оценок ЛПР по каждому из уровней, предлагается метод нечеткого многокритериального анализа вариантов [5]. Данный метод состоит в упорядочивании элементов множества $\mathbf{S}$ вариантов по критериям из множества $\mathbf{E}$,

где $\mathbf{S} = \{S_1, S_2, S_3, ..., S_m\}$ - множество факторов (вариантов), которые подлежат многокритериальному анализу;

$\mathbf{E} = \{E_1, E_2, E_3, ... E_n\}$ - множество критериев, по которым оцениваются варианты; критерий $E_i, i = \overline{1, n}$ - высокая оценка степени воздействия фактора на ЛПР, данная i-м экспертом.

Пусть $\mu_{E_i}(S_j)$ – число в диапазоне [0, 1], которым оценивается вариант $S_j \in \mathbf{S}$ по критерию $E_i \in \mathbf{E}$. Тогда критерий E_i можно представить нечётким множеством $\widetilde{E}_i$ на универсальном множестве вариантов $\mathbf{S}$:

$$\widetilde{E}_i = \left\{ \frac{\mu_{\widetilde{E}_i}(S_1)}{S_1}, \frac{\mu_{\widetilde{E}_i}(S_2)}{S_2}, ..., \frac{\mu_{\widetilde{E}_i}(S_m)}{S_m} \right\}, \quad (1)$$

где $\mu_{\widetilde{E}_i}(S_j)$ - степень принадлежности варианта S_j нечёткому множеству $\widetilde{E}_i$ - «высокая оценка степени воздействия фактора на ЛПР, данная i-м экспертом»

Для нахождения степеней принадлежности нечеткого множества (1) целесообразно использовать метод построения функций принадлежности на основе парных сравнений [6]. При использовании данного метода необходимо сформировать матрицы парных сравнений вариантов $L(E_i)$ по i - му критерию. Общее количество таких матриц равно количеству критериев.

Парные сравнения проводятся по шкале Саати [6], причем полагаем, что если оценки вариантов S_r и S_p совпадают, то преимущество S_r над S_p отсутствует, а элементы матрицы $L(E_i)$ $l_{rp} = 1$. Если оценки вариантов S_r и S_p «высокая» и «средняя» соответственно, то преимущество S_r над S_p слабое, а $l_{rp} = 3$.

Если оценки вариантов S_r и S_p «высокая» и «низкая» соответственно, то преимущество S_r над S_p абсолютное, а $l_{rp} = 9$. Наконец, если оценки вариантов S_r и S_p «средняя» и «низкая» соответственно, то преимущество S_r над S_p явное, а $l_{rp} = 7$. Остальные элементы матрицы парных сравнений можно найти из свойства ее обратной симметричности, т. е. $l_{rp} = 1/l_{rp}$, $r, p = \overline{1,m}$.

Исходя из примера, где количество вариантов S_j равно одиннадцати, соответственно потребуется сравнить $C_{11}^2 = 55$ пар вариантов, то для построения матрицы парных сравнений $L(E_i)$ целесообразно воспользоваться средой MATLAB. Для этого введем обозначения. Через EI[j] - одномерный массив размера m. Причем EI[j]=1, если оценка, данная i-м экспертом j- му фактору, «низкая»; EI[j]=2, если соответствующая оценка «средняя»; EI[j]=3, если эта оценка «высокая». Через LI[j,k] - двумерный массив размера $m \times m$, элементы которого равны соответствующим элементам матрицы $L(E_i)$.

Степени принадлежности $\mu_{\tilde{E}_i}(S_j)$ принимаем равными соответствующим координатам собственного вектора $\mathbf{w} = (w_1, w_2, ..., w_m)^T$ матрицы парных сравнений $L(E_i)$:

$$\mu_{\tilde{E}_i}(S_j) = w_j \ , \ \ j = \overline{1,m} \ . \tag{2}$$

Собственный вектор находим из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} L(E_i)\mathbf{w} = \lambda_{\max}\mathbf{w} \\ w_1 + w_2 + ... + w_m = 1 \end{cases} \tag{3}$$

где $\lambda_{\max}$ - максимальное собственное значение матрицы $L(E_i)$.

Если считать, что критерии E_i равновесны, то в этом случае лучшим вариантом будет тот, который одновременно лучший по всем критериям. Нечёткое решение находится как пересечение частных критериев:

$$\tilde{D} = \tilde{E}_1 \cap \tilde{E}_2 \cap ... \cap \tilde{E}_n = \left\{ \frac{\min\limits_{i=1,n} \mu_{\tilde{E}_i}(S_1)}{S_1}, \frac{\min\limits_{i=1,n} \mu_{\tilde{E}_i}(S_2)}{S_2}, ..., \frac{\min\limits_{i=1,n} \mu_{\tilde{E}_i}(S_m)}{S_m} \right\} \ , \tag{4}$$

где $\tilde{D}$ - нечеткое множество «высокая оценка степени влияния фактора на ЛПР».

Согласно полученным нечётким множеством $\tilde{D}$, лучшим вариантом S_0 следует считать тот, у которого самая большая степень принадлежности:

$$S_0 = \arg\max\left(\mu_{\tilde{D}}(P_1), \mu_{\tilde{D}}(P_2), \ldots, \mu_{\tilde{D}}(P_m)\right). \qquad (5)$$

Для автоматизации нахождения степени принадлежности $\mu_{\tilde{D}}(S_j) = \min\limits_{i=1,n} \mu_{\tilde{E}_i}(S_j)$ j-го фактора нечеткому множеству $\tilde{D}$ средствами MATLAB введем следующие обозначения. Через EI[j,i] - двумерный массив размера $m \times n$, элементы которого равны 1,2,3 в зависимости от оценок, выставляемых i-м экспертом j-му фактору. EIGLI [j] - одномерный массив размера m, элементы которого являются собственными значениями матрицы парных сравнений вариантов $L(E_i)$ по i - му критерию. LMAX – наибольшее по модулю из этих собственных значений. W [jo] - одномерный массив размера m, соответствующие элементы которого равны степени принадлежности $j0$-го фактора нормальному нечеткому множеству $\tilde{D}$.

Результаты моделирования степени влияния возмущающих факторов на ЛПР на различных уровнях МЭС, в среде MATLAB, представлены на рисунке 2.

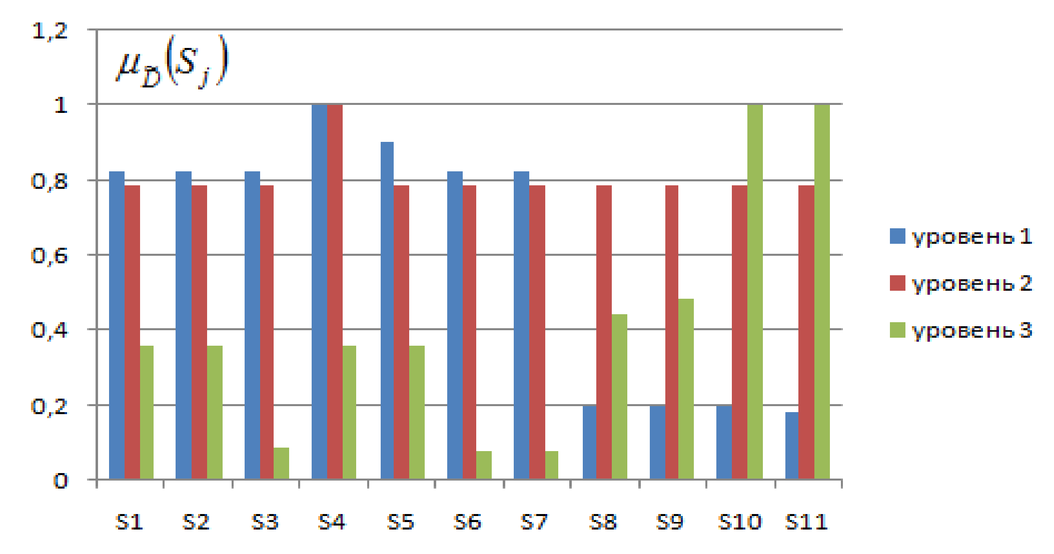


Рис. 2. Степени принадлежности $\mu_{\tilde{D}}(S_j)$ j-го фактора нормальному нечеткому множеству $\tilde{D}$ на различных уровнях МЭС

Выводы

Как видно из рис. 2, на первом уровне к факторам, обладающим высокой степенью влияния на ЛПР, относятся факторы технологического процесса и рабочей среды. При этом когнитивные факторы влияют на ЛПР явно меньше, чем остальные. На втором уровне все факторы, кроме температуры, оказывают одинаковое почти высокое влияние. Причем наибольшее влияние на ЛПР как на первом, так и на втором уровне оказывает фактор S_4- температура. На третьем уровне в высокой степени влияют на ЛПР только когнитивные факторы. В первую очередь, это психологическая напряженность - S_{10} и информационный стресс - S_{11}.

Применение данного способа позволит в реальном времени контролировать и влиять на функциональное состояние лица, принимающего решения в критических ситуациях, на каждом иерархическом уровне управления, вследствие чего повысить эффективность работы эргатических систем в целом.

Литература

1. Шеридан Т. Б. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел; пер. с англ.; под ред. К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.
2. Человеческий фактор. В 6-ти тт. Т. 2. Эргономические основы проектирования производственной среды: Пер. с англ. / Д. Джоунз, Д. Бродбент, Д. Е. Вассерман и др. – М.: Мир, 1991. – 500 с.
3. Алонцева Е. Н. Системный анализ деятельности операторов атомной станции в экстремальных условиях. [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.13.01, 19.00.03 // Алонцева Елена Николаевна; Обнинский государственный технический университет.
4. Верлань А. Ф. Особенности оперативного тестирования на рабочем месте операторов систем поддержки принятия решений (СППР) / А. Ф. Верлань, М. Ф. Сопель, Ю. О. Фуртат // Збірник наукових праць «Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки». — Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка, 2010. — Вып. 3. — С. 37-45.
5. Передерій В. І. Застосування мережі Байєса з оцінки ступеня значимості впливаючих факторів на оператора в автоматизованих системах прийняття релевантних рішень [Текст] / В.І. Передерий, В.І. Литвиненко // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Випуск №-733 – Львів, 2012. -- С. 120-128.
6. Саати Т.Л. Взаимодействие в иерархических системах // Техническая кибернетика. 1979. №1. С. 68-84.

Literatura

1. Sheridan T. B., Ferrel U. R. Sistemy chelovek-mashina: Modeli obrabotki informatsii, upravleniya i prinyatiya reshenii chelovekom-operatorom [Human-Machine Systems: Models of Human Operator Information Processing, Control and Decision Making], Moscow, *Mashinostroenie Publ.*, 1980, 400 p. (In Russian)
2. Dzhounz D., Brodbent D., Vasserman D. E. Chelovecheskii faktor. T. 2. Ergonomicheskie osnovy proektirovaniya proizvodstvennoi sredy [Human Factor: V. 2 Ergonomic Design of Workspace], Moscow, *Mir Publ.*, 1991, 500 p. (In Russian)
3. Alontseva E.N. Sistemnyi analiz deyatel'nosti operatorov atomnoi stantsii v ekstremal'nykh usloviyakh. [System Analysis of Atomic Power Plant Operators Activity in Extreme Conditions], (2006), Thesis (PhD). Obninsk State Technical University, Russia. (In Russian)
4. Verlan' A. F. Osobennosti operativnogo testirovanija na rabochem meste operatorov sistem podderzhki prinjatija reshenij (SPPR) / A. F. Verlan, M. F. Sopel, Yu. O. Furtat // Zbirnik naukovih prats «Matematichne ta komp'yuterne modelyuvannya. Seriya: Tehnichni nauki». — Kam'yanets-Podilskiy : Kam'yanets-Podilskiy natsionalniy universitet im. Ivana Ogienko, 2010. — No. 3. — pp. 37-45. (In Russian//In Ukrainian)
5. Perederij V. I.: Zastosuvannya merezhi Bajesa z ocinki stupenya znachimosti vplivayuchix faktoriv na operatora v avtomatizovanix sistemax prijnyattya relevantnix rishen [Application of Bayesian network assess the significance of the influencing factors on the operator in automated systems relevant decisio nmaking]. Perederij V.I., Litvinenko V.I.: Komp'yuterni nauki ta informacijni texnologiї [Computer Science and Information Technology]. Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". 733/2012, pp. 120-128 (in Ukrainian).
6. Saati T.L. Vzaimodejstvie v ierarhicheskih sistemah // Tehnicheskaja kibernetika. 1979. No. 1. pp. 68-84. (In Russian)

RESUME

Viktor Perederii, Eugene Borchik

Assessment of factors' impact on problem-solving by the decision maker in multilevel ergatic systems by means of fuzzy classificator

In multilevel ergatic systems (MES) with branched hierarchic structure and working in critical situations, as energetics, petrochemical and other industry sectors, special requirements to the human factor are imposed. Adequate problem-solving in such systems by the decision-maker under conditions of uncertainty depends to a large extent on cognitive component of the decision-maker, as well as on factors of the industry process, the influence of the industry environment on each hierarchic operational level.

To assess factors' impact on the decision-maker the expert judgements have been received by applying the audit of 10 experts on each level of MES. The assessment data are presented by the value of the linguistic variable «grade»: «low», «medium», «high».

With the aim of determining the grade of the level of criticality of above mentioned factors' impact, on the basis of the expert judgements of the decision-maker at each level, the method of fuzzy multi-criteria scheme analysis has been suggested. As the result, it is possible to make the following conclusion:

1. The problem-solving by the decision-maker at the first level is defined by operation and control of process conditions in general. At this level the decision-maker is influenced by factors of the industry process and factors of the operation environment.

2. The activity of the decision-maker at the second level lies in dispatching of technological process in general, it is characterized by a great amount of incoming data, higher level of risk, planned tasks completion, coming from the higher levels of MES. The leading factors at this level are considered to be factors of the operation environment as well as cognitive ones.

3. At the highest level of MES operation the decision-maker maintains control over territorial task distribution, alternative choice of decision-making in critical situations, which are not fully regularized with instruction materials. At this level the cognitive factors are very important.

The application of this method allows to control and influence in real-time on the state of the decision-maker in critical situations, at each hierarchic operational level, so that to increase the effectiveness of ergatic systems work in general.

Надійшла до редакції 01.10.2016